



⑮ **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Übersetzung der
europäischen Patentschrift**

⑨ **EP 1 019 991 B 1**

⑩ **DE 698 06 785 T 2**

⑤ **Int. Cl. 7:
H 04 B 10/17
H 04 B 10/207
H 04 J 14/02**

⑳ Deutsches Aktenzeichen: 698 06 785.1
㉑ PCT-Aktenzeichen: PCT/US98/16558
㉒ Europäisches Aktenzeichen: 98 939 303.8
㉓ PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 99/17410
㉔ PCT-Anmeldetag: 12. 8. 1998
㉕ Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: 8. 4. 1999
㉖ Erstveröffentlichung durch das EPA: 19. 7. 2000
㉗ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 24. 7. 2002
㉘ Veröffentlichungstag im Patentblatt: 13. 2. 2003

③① **Unionspriorität:**
9712083 29. 09. 1997 FR

⑦③ **Patentinhaber:**
Corning Inc., Corning, N.Y., US

⑦④ **Vertreter:**
PAe Reinhard, Skuhra, Weise & Partner GbR, 80801
München

⑧④ **Benannte Vertragsstaaten:**
DE, FR, GB, IT, SE

⑦⑦ **Erfinder:**
JACOB, David, F-77210 Avon, FR; PRASSAS,
Michel, F-77870 Vulaines sur Seine, FR

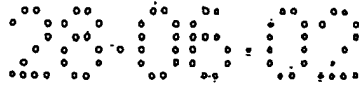
⑤④ **OPTISCHE VERSTÄRKERVORRICHTUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 698 06 785 T 2

DE 698 06 785 T 2

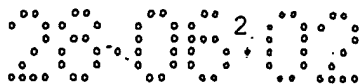


DE 698 06 758.1-09
CORNING INCORPORATED

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen neuen Typ von optischer Verstärkervorrichtung, speziell, aber nicht ausschließlich, auf eine optische Verstärkervorrichtung, welche für den Gebrauch in einem Netzwerk optischer Fasern gedacht ist.

Die optische Faser findet rasch Teilnehmerzugangnetzwerke für die Verteilung von CATV-(Kabelfernseh-)Diensten Verbreitung. Die heutigen CATV-Kopfendstationen führen Verteilungsdienste einer großen Anzahl von Teilnehmern (> 1000) in Netzwerken mit redundanter Aufteilung zu, sowohl im Faserteil als auch im Koaxialteil. Die gegenwärtige Forderung nach interaktiven Diensten, wie Telearbeit und Videotelefonieren mit hoher Qualität, steigt an, aber sie fordert eine hohe Bandbreite und eine bidirektionale Verbindung zwischen den Servern und den Kunden. Um derartige interaktive Dienste in CATV-Netzwerken zu implementieren, ist es notwendig, hochauflösende Wellendivisionsmultiplex-(HDWDM-)Techniken und Geräte zu entwickeln. Eines dieser wesentlichen Geräte ist eine bidirektionale Multiwellenlängen-optische Verstärkervorrichtung, welche die Ausbreitungs- und Aufteilungsverluste entlang der Verbindung sowohl für aufwärts- als auch abwärtsgerichtete Signale kompensieren muss. Ein derartiges Gerät ist zur Zeit nicht erhältlich.

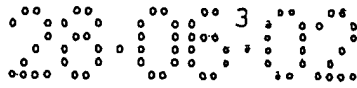
In IEEE Photonics Technology Letters, Band 2, Nr. 9, 1. September 1990, S. 665-668, Way W.I. et al., "Simultaneous Distribution of Multichannel Analog and Digital Video Channels to Multiple Terminals using High-Density WDM and a Broad-Band In-Line Erbium-Doped Fiber Amplifier", wird eine optische Verstärkervorrichtung speziell für den Gebrauch in Netzwerken be-



schrieben, welche Signale über optische Fasern verteilt, wobei die Vorrichtung digitale und analoge Signale verstärkt.

Die vorliegende Erfindung liefert eine neue optische Verstärkerarchitektur, welche zwei parallele optische Zweige hat, einen zum Verstärkern digitaler Signale und den anderen zum Verstärken analoger Signale. Diese optischen Zweige sind parallel in dem Sinne, dass sie parallel so miteinander verbunden sind, dass gewisse Signale durch einen der Zweige laufen, während andere, möglicherweise gleichzeitig, durch den anderen laufen. Bevorzugte Ausführungsformen dieser optischen Verstärkervorrichtung ermöglichen gleichzeitige Verstärkung eines analogen CATV-Signals und einer Vielfalt von gemultiplexten, bidirektionalen digitalen Signalen, welche die Ausbreitungs- und Aufteilungsverluste entlang der Leitung sowohl für aufwärts- als auch abwärtsgerichtete Signale kompensieren.

Es wird speziell bevorzugt, dass die optische Verstärkervorrichtung der vorliegenden Erfindung sich Erbium-dotierter Faserverstärker-(EDFA-)Elemente bedient. Typischerweise sind die Wellenlängen, welche von dem digitalen Pfad in der optischen Verstärkervorrichtung benutzt werden, im kürzeren Wellenlängenbereich (z.B. 1530-1545 nm) des EDFA-Verstärkungsspektrums, wohingegen die Wellenlängen, welche von dem analogen Pfad der optischen Verstärkervorrichtung genutzt werden, im längeren Wellenlängenbereich (1550-1560 nm) liegen. Die Frequenzmodulation des analogen Signals ergibt sich aus einer Frequenzänderung des Sendelasers. Das Nutzen des 1550-1560 nm-Bandes für die Verstärkung des analogen Signals ermöglicht eine Zerstörung des analogen Signales entsprechend dieser Frequenzänderung des Sendelasers, welche reduziert wird, dank der Tatsache, dass die Verstärkungskurve des EDFA-Elements in diesem Teil des Spektrums flacher ist.

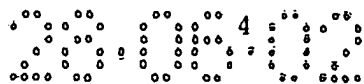


In einer Ausführungsform der Erfindung hat der optische Zweig, welcher die digitalen Signale verarbeitet, ein erstes und ein zweites verstärkendes Teil (vorteilswise als jeweils EDFA-Spulen ausgeführt) und ein die Verstärkung glättendes Filter, welches zwischen diesen beiden verstärkenden Teilen angeordnet ist. Mit dieser Anordnung kann die Position des die Verstärkung abflachenden Filters so gewählt werden, dass der beste Kompromiss erreicht werden kann, zwischen niedrigem Rauschen und optimaler Ausgangsleistung sowohl für aufwärts- als auch die abwärtsgerichteten Kanäle.

Es wird auch bevorzugt, dass zwei Laser genutzt werden, um die Verstärkervorrichtung in den parallelen analogen und digitalen Pfaden zu treiben bzw. anzusteuern. Auf diese Weise kann die Verstärkung jedes Pfades unabhängig vom anderen gesteuert werden. Es wird speziell bevorzugt, dass jeder der Laser jeweils eine Verstärkungsvorrichtung in dem digitalen Pfad ansteuert, wohingegen nur einer der Laser die Verstärkungsvorrichtung in dem analogen Pfad ansteuert.

Vorzugsweise werden der parallele, digitale und analoge Pfad miteinander an ihren Enden über Wellenlängendivisionsmultiplex-/demultiplexanordnungen verbunden. Derartige Anordnungen versetzen die digitalen und analogen Signale nicht nur in die Lage, dass sie, wie gewünscht, getrennt und rekombiniert werden können, sondern sie reduzieren auch das durch Vielpfadinterferenz induzierte Übersprechen und verbessern das Rauschverhalten bzw. die Rauschcharakteristik sowohl der analogen als auch digitalen Abschnitte, indem sie die verstärkte spontane Emission (ASE) filtern. Es ist auch wünschenswert, dass ein optischer Isolator in dem analogen Zweig vorhanden ist, wenn in dem letzteren eindirektionale Signale geführt werden.

Um die Kompaktheit der gesamten Vorrichtung zu fördern, kann es nützlich sein, mit der optischen Verstärkervorrichtung der



vorliegenden Erfindung den ersten Strahlteiler des Verteilungsnetzwerkes zu integrieren.

Weitere Eigenschaften und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungen dieser offensichtlich werden, welche beispielhaft gegeben werden und in den beigefügten Zeichnungen dargestellt werden, in welchen:

Fig. 1 zeigt den allgemeinen Aufbau einer ersten Ausführungsform der optischen Verstärkervorrichtung entsprechend der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 zeigt den allgemeinen Aufbau einer zweiten Ausführungsform der optischen Verstärkervorrichtung entsprechend der vorliegenden Erfindung; und

Fig. 3 zeigt die allgemeinen Aufbau einer dritten Ausführungsform der optischen Verstärkervorrichtung entsprechend der vorliegenden Erfindung.

Wie in Fig. 1 dargestellt, beinhaltet die optische Verstärkervorrichtung der vorliegenden Erfindung einen ersten und einen zweiten parallelen optischen Zweig 1 und 2. Der erste parallele Zweig 1 ist so gestaltet, um eine Vielzahl von gemultiplexten ein- oder vorzugsweise zweidirektionalen digitalen Signale zu verstärken, wohingegen der zweite optische Pfad so angepasst ist, um ein eindirektionales analoges Signal, speziell ein derartiges Signal eines relativ breiten Bandes zu verstärken.

Die parallelen optischen Zweige sind miteinander an ihren Enden über Wellenlängendivisionsmultiplex-/demultiplex-(WDM-) Anordnungen 3 verbunden und werden von ersten und zweiten Laserdioden 4A und 4B angesteuert. In dem vorliegenden Beispiel

arbeiten die Laserdioden 4A und 4B bei 980 nm und haben eine Ausgangsleistung von 120 mW; jedoch, wie dies von einem Fachmann sehr gut verstanden wird, sind unterschiedliche Pumpwavelengthen gebräuchlich, abhängig von dem aktiven Dotierstoff in dem verstärkenden Medium. Die WDM-Geräte 3 sind Bauteile von mittlerer Bandbreite und dienen dazu, den analogen Kanal und die digitalen Kanäle zu trennen und zu rekombinieren. Sie reduzieren auch das Übersprechen, welches durch die Vielpfadinterferenz (MPI) induziert wird und dienen dazu, das Rauschverhalten der beiden Sektionen durch Filtern der verstärkten spontanen Emission zu verbessern. Solche Anordnungen sind gebräuchlicherweise Faser-, Gitter-, Dünnschicht- oder andere Arten von WDMs, welche Fachleuten bekannt sind.

In dieser Ausführungsform der Erfindung werden in den parallelen Zweigen der Verstärkervorrichtung Erbium-dotierte Faserverstärker 5, 6 und 7 verwendet. Der erste parallele Zweig 1 arbeitet im kürzeren Wellenlängen-(blau)Band (1530-1545 nm) des Verstärkungsspektrums von Erbium, wohingegen der zweite parallele Zweig 2 in dem längeren Wellenlängen-(rot)Band (1550-1560 nm) des Erbiumverstärkungsspektrums arbeitet. Das Verwenden des längeren Wellenlängenbandes erlaubt eine Reduktion bei der analogen Signalstörung, welche durch die Frequenzänderung des Sendelasers verursacht wird (wenn letzterer intern moduliert wird), wie oben erklärt.

Der erste optische Zweig 1 ist vorzugsweise bidirektional (d.h., es gibt keinen optischen Isolator). Dieser optische Zweig 1 wird genutzt, um zur gleichen Zeit digitale aufwärts- und abwärtsgerichtete Kanäle zu verstärken, und bei einem Kanalabstand von 0,8 nm (100 GHz) zwischen zwei benachbarten gemultiplexten aufwärts- und abwärtsgerichtete Kanälen können bis zu 8 digitale Kanäle (z.B. 4 aufwärts, 4 abwärts) in dem 1535-1541 nm-Fenster untergebracht werden. Das Wellenlängenverschachteln der Aufwärts- und Abwärtssignale macht es mög-

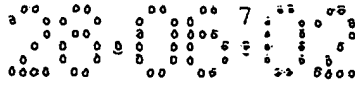
28.08.02

lich, mögliche Vier-Wellen-Mischeffekte zwischen miteinander sich ausbreitenden Signalen zu reduzieren, wobei nur ein kleiner spektraler Bereich der Verstärkungskurve genutzt wird.

Vorzugsweise wird die Verstärkung in dem ersten optischen Zweig erreicht, indem zwei verstärkende Bereiche (hier EDFA-Spulen 5 und 6) mit einem die Verstärkung abflachenden Filter 8, das zwischen ihnen aufgestellt wird, genutzt werden. Das die Verstärkung abflachende Filter dient dazu, die Verstärkungswelligkeit zwischen den verschiedenen digitalen Kanälen zu reduzieren. Indem zwei verstärkende Bereiche 5 und 6 genutzt werden, kann eine optimale Position für das die Verstärkung abflachende Filter 8 gefunden werden, welche das Erreichen eines brauchbaren Kompromisses zwischen der Rauschleistung und der optimalen Ausgangsleistung sowohl für die Aufwärts- als auch Abwärtskanäle ermöglicht. Im vorliegenden Beispiel werden die beiden verstärkenden Bereiche 5 und 6 jeweils von einer ersten EDFA-Spule mit 5,5 m Länge und einer zweiten EDFA-Spule mit 12 m Länge gebildet. Es wird als wertvoll erachtet werden, dass eine Zwei-Spulen-Anordnung wahlweise verschiedene Zusammenstellungen der Spulen und/oder verschiedene Pumpwellenlängen, welche entweder einer oder beiden Spulen zugeführt werden, zur Verfügung stellt.

In der vorliegenden Ausführungsform steuert die Pumplaserdiode 4A die ersten und zweiten Verstärkungsbereiche 5 und 6 des ersten optischen Pfades über einen Koppler 13 und jeweils die Wellendivisionsmultiplex-(WDM-)Geräte 11 und 12 an. Der Koppler 13 kann ein 3dB-Koppler oder ein Richtungskoppler mit irgendeinem gewünschten Aufteilungsverhältnis sein, abhängig von dem Grad an Wechselrichtung, welcher in den Spulen 5, 6 angestrebt wird.

Der zweite optische Zweig 2 ist eindirektional, und wenn diese optische Verstärkervorrichtung in einem Verteilungsnetzwerk

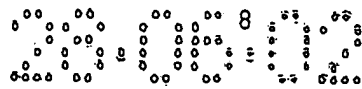


CATV und für digitale Dienste genutzt wird, dient er dazu, das analoge CATV-Signal zu verstärken. Dieser Zweig beinhaltet einen einzelnen Verstärkungsbereich, welcher in diesem Beispiel als eine EDFA-Spule von 15,5 m Länge dargestellt wird. Ein optischer Isolator 14 ist in diesem zweiten optischen Zweig 2 vorhanden, um die Rückreflexionseffekte zu reduzieren. Der Pumplaser 4B steuert die Verstärkung im zweiten optischen Zweig 2 über eine WDM-Koppeleinrichtung 15 an.

Die oben beschriebene zweifache Pumpenanordnung ist vorteilhaft, da die Verstärkung oder Ausgangsleistung eines jeden der parallelen Zweige unabhängig von dessen bzw. deren oder der des anderen Zweiges gesteuert werden kann. Dadurch kann bei einer CATV-Anwendung die Ausgangsleistung des CATV-Signals verändert werden, indem der Anregungsstrom des Pumplasers 4B verändert wird, ohne die Ausgangsleistung der digitalen Kanäle zu verändern. In ähnlicher Weise kann, wenn es gewünscht wird, die Ausgangsleistung des digitalen Zweiges alleine zu verändern, der Anregungsstrom des Pumplasers 4A alleine geändert werden.

Eine zweite Ausführungsform der optischen Verstärkervorrichtung entsprechend der vorliegenden Erfindung wird in Fig. 2 dargestellt. Die zweite Ausführungsform hat viele Elemente, welche ähnlich zu denen der ersten Ausführungsform sind, und daher wurden die gleichen Referenzbezeichnungen geeigneterweise benutzt.

Wie in Fig. 2 dargestellt, bindet die optische Verstärkervorrichtung der zweiten Ausführungsform den ersten Teiler 20 des Verteilungsnetzwerkes ein. In diesem Beispiel ist der integrierte Teiler 20 ein Vier-Weg-Teiler. Zusätzlich ist die Ansteueranordnung der zweiten Ausführungsform unterschiedlich von der der ersten Ausführungsform. Man kann sehen, dass, obwohl zwei Laserdioden 24A, 24B noch benutzt werden, um die parallelen optischen Pfade anzusteuern, dass die Anordnung die-



ser Laserdioden gegenüber der Ausführungsform der Fig. 1 verändert wurde. Speziell sind in der vorliegenden Ausführungsform die beiden miteinander sich ausbreitenden Pumplaser 24A und 24B mit den zwei verstärkenden Bereichen des ersten parallelen Pfades 1 über jeweils WDM-Koppelgeräte 11 und 12 verbunden. Der Pumplaser 24A ist mit dem ersten WDM-Koppelgerät 11 über einen 3 dB-Koppler 23 verbunden, welcher die Laserleistung, welche von dem Ansteuerlaser 24A geliefert wird, aufteilt, so dass im Wesentlichen die Hälfte der Ausgangsleistung davon in den zweiten parallelen optischen Zweig 2 über ein weiteres WDM-Koppelgerät 15 geführt wird.

① Mit der Pumpanordnung der Fig. 2 kann die Verstärkung oder Ausgangsleistung eines jeden der parallelen optischen Zweige auch unabhängig von dem einen oder dem anderen Zweig gesteuert werden. Wenn es gewünscht wird, die Ausgangsleistung des optischen Zweiges 2 zu ändern, dann wird die Leistung der Laserdiode 24A geändert und eine kompensierende Änderung wird an der Ausgangsleistung der Laserdiode 24B vorgenommen. Auf der anderen Seite, wenn es gewünscht wird, die Ausgangsleistung des optischen Zweiges 1 zu ändern, dann wird die Ausgangsleistung der Laserdiode 24B alleine justiert bzw. eingestellt.

② Die Leistung der optischen Verstärkervorrichtung, welche in Fig. 2 dargestellt wird, wird nun mit Bezug auf die Ergebnisse gewisser Experimente, welche ausgeführt wurden, erläutert. All die beschriebenen Experimente wurden bei Umgebungstemperatur und einer konstanten Pumpleistung von 130 mW bei 980 nm für den ersten Pumplaser 24a und einer Pumpleistung von 80 mW bei 980 nm für den zweiten Pumplaser 24B durchgeführt.

Messungen für den analogen Zweig

Das Rauschverhalten und die Ausgangsleistung des analog verstärkenden Zweiges 2 wurden untersucht, indem die Wellenlänge

des Eingangssignals von 1550 nm bis 1560 nm (mit einem Schritt von 1 nm) untersucht wurde. Für jede Wellenlänge wurde die Eingangsleistung aufeinanderfolgend auf -5 dBm, 0 dBm und 5 dBm gesetzt, repräsentativ für mögliche Arbeitspunkte des Verstärkers. Unter diesen Bedingungen war das Rauschverhalten und die Ausgangsleistung, wie dies in nachfolgender Tabelle 1 aufgezeigt wird.

Tabelle 1

	P_{out} (dBm) (*)	NF (dB) (*)	Verstärkung (dB) (*)
	$\lambda_{CATV}=[1550-1560]$	$\lambda_{CATV}=[1550-1560]$	$\lambda_{CATV}=[1550-1560]$
$P_{in} = -5$ dBm	6,5 dBm < P_{out} < 6,6 dBm	4,3 dB < NF < 4,6 dB	11,5 dB < G < 11,6 dB
$P_{in} = 0$ dBm	6,8 dBm < P_{out} < 6,9 dBm	4,8 dB < NF < 5,2 dB	6,8 dB < G < 6,9 dB
$P_{in} = +5$ dBm	7,1 dBm < P_{out} < 7,2 dBm	5,7 dB < NF < 6,0 dB	2,1 dB < G < 2,2 dB

(*) für den Ausgangsanschluss mit höchstem Verlust

Die Verstärkungsteilheit des analog verstärkenden Zweiges wurde untersucht, indem zwei Signale genutzt wurden, ein Signal wurde genutzt, um die Verstärkung bei der Wellenlänge des CATV-Signals zu sättigen, wohingegen das zweite als ein schwaches Tastsignal genutzt wurde, um die Verstärkung im Bereich der CATV-Wellenlänge aufzuzeigen. Der Sättigungsstrahl wurde nacheinander auf 1550, 1555 und 1560 nm gesetzt, wobei die Sättigungseingangsleistung von -5 dBm und 0 dBm und +5 dBm für jede Wellenlänge gesetzt wurde. Für jede dieser Sättigungsbedingungen wurde die Taststrahlwellenlänge im Bereich der CATV-Wellenlänge gescannt, mit einer Eingangsleistung von -35 dBm, und die lokale Verstärkungsflanke wurde mit einer Breite von 1 nm ausgewertet. Die Ergebnisse werden in der nachfolgenden Tabelle 2 aufgeführt.

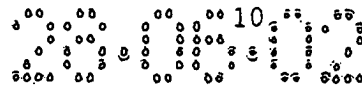


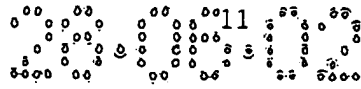
Tabelle 2

	Verstärkungsflanke $\Delta G/\Delta\lambda$ (dB/nm) für $\lambda_{\text{CATV}} = [1550-1560]$
$P_{\text{in}} = -5$ dBm	$0,1 < \Delta G/\Delta\lambda < 0,25$
$P_{\text{in}} = 0$ dBm	$0,1 < \Delta G/\Delta\lambda < 0,25$
$P_{\text{in}} = +5$ dBm	$0,1 < \Delta G/\Delta\lambda < 0,25$

Es ist interessant, aus Tabelle 2 festzustellen, dass die Verstärkungsflanke in jedem Fall unter 0,25 dB/nm liegt, was typisch für Typ-II-Erbium-dotierte Fasern ist. Dieser Aufbau bzw. diese Struktur ist damit geeignet, bei CATV-Anwendungen genutzt zu werden, wobei der maximal zulässige Wert für die Verstärkungsflanke bei solchen Anwendungen 0,25 dB/nm beträgt.

Messungen am digitalen Zweig

Mit Bezug auf die Abwärtsrichtung wurde das Rauschverhalten, die Verstärkung und Verstärkungsflachheit in drei Schritten untersucht, indem drei Laser genutzt wurden. Für alle Messungen wurde ein Aufwärtssättigungssignal bei 1538 nm (Hauptwellenlänge der digitalen Kanäle) mit einer optischen Eingangsleistung von +13 dBm (maximale gesamte Aufwärtsleistung, welche durch die 4 Aufwärtskanäle am Eingang des 1x4-Teilers geführt wird) in den Verstärker über einen der 1x4-Ausgangsanschlüsse eingeleitet. Zuerst wurde die Abwärtsverstärkung und das Rauschverhalten mit einem Abwärtssignal bei 1538 nm für verschiedene Sättigungseingangsleistungswerte: -7, -10, -20, -30 dBm (siehe Tabelle 3) gemessen. Als Zweites wurde ein -13 dBm-Abwärtstastsignal bei 1535 nm am Eingangsanschluss des Verstärkers hinzugefügt und das 1538 nm-Signal wurde auf -8,2 dBm justiert, so dass die gesamte Abwärtseingangsleistung konstant bei -7 dBm blieb. Abschließend wurde das Signal bei 1535 nm durch ein -13 dBm-Signal bei 1541 nm ersetzt. Für die-



se Betriebsbedingungen kann vorausgesetzt werden, dass die durchschnittliche Inversion entlang des Verstärkers zu einem monotonen Abfall der Verstärkung von 1535 bis nahezu 1541 nm führt, sogar bei Vorhandensein des die Verstärkung abflachenden Filters. Dann ist die Verstärkungswelligkeit einfach durch die Verstärkungsdifferenz zwischen diesen beiden Wellenlängen gegeben (siehe Tabelle 4).

Tabelle 3

	Netto-Verstärkung (dB)	NF (dB)
$P_{in} = -7 \text{ dBm}$	16,3	5,6
$P_{in} = -10 \text{ dBm}$	18,9	5,8
$P_{in} = -20 \text{ dBm}$	24,7	5,4
$P_{in} = -30 \text{ dBm}$	28,4	5,3

Tabelle 4

$G_{max} (@ 1535 \text{ nm})$	$G_{min} (@ 1541 \text{ nm})$	$\Delta G = G_{max} - G_{min}$	$NF\lambda = [1535-1541]$
17,3 dB	16,2 dB	1,1 dB	5,9 dB < NF < 6,0 dB

In Bezug auf die Aufwärtsrichtung wurden die Messungen in der gleichen Weise wie für die Abwärtsrichtung durchgeführt. Damit wurde bei allen Messungen ein Abwärtssättigungssignal bei 1538 nm mit einer optischen Eingangsleistung von -7 dBm in den Verstärker über den Eingangsanschluss eingeführt. Als Erstes wurde die Aufwärtsverstärkung und das Rauschverhalten mit einem Aufwärtssignal bei 1538 nm für verschiedene Sättigungseingangsleistungswerte: -13, -20, -30 dBm (siehe Tabelle 5) gemessen. Als Zweites wurde ein -19 dBm-Abwärtstastsignal bei

1535 nm bei einem Ausgangsanschluss des Verstärkers zugefügt und das 1538 nm-Signal wurde auf -14,25 dBm eingestellt, so dass die gesamte Abwärtseingangsleistung bei -13 dBm konstant blieb. Schließlich wurde das Signal bei 1535 nm durch ein -19 dBm-Signal bei 1541 nm ersetzt. Die Verstärkungswelligkeit wird wie vorher wiedergegeben (siehe Tabelle 6).

Tabelle 5

	Netto-Verstärkung (dB)	NF (dB) (*)
$P_{in} = -13 \text{ dBm}$	16,1	7
$P_{in} = -20 \text{ dBm}$	16,5	6,7
$P_{in} = -30 \text{ dBm}$	20,5	2,9

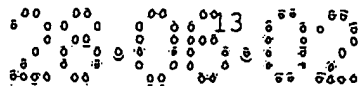
Tabelle 6

G_{max} (@ 1535 nm)	G_{min} (@ 1541 nm)	$\Delta G = G_{max} - G_{min}$	NF(*) $\lambda = 1535-1541$
18,5 dB	16,1 dB	2,4 dB	6,5dB < NF < 9,4dB

(*) In den Tabellen 5 und 6 berücksichtigen die Werte des Rauschverhaltens NF nicht die Verluste (in der Größenordnung von 7 dB), welche von dem 1x4-Teiler am Ausgang des Verstärkers herrühren.

Es kann aus den oben beschriebenen experimentellen Ergebnissen ersehen werden, dass die optische Verstärkervorrichtung der vorliegenden Erfindung Leistungscharakteristika aufweist, welche sehr gut für eine Anwendung in einem Verteilungsnetzwerk für CATV und gemultiplexte digitale Signale geeignet ist.

Obwohl die vorliegende Erfindung mit Bezug auf zwei spezifische Ausführungsformen für diese beschrieben wurde, ist die



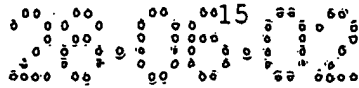
Erfindung nicht auf die detaillierte Implementation dieser zwei Ausführungsformen eingeschränkt. Im Gegenteil können zahlreiche Modifikationen und Adaptionen der Vorrichtung gemacht werden. Z.B. sind die zitierten Betriebswellenlängen, Leistungen und Anregungsströme der Laserdioden lediglich erläuternd, und andere Werte sind möglich. In ähnlicher Weise sind die zitierten Längen der verschiedenen EDFA-Elemente nur erläuternd, die geeigneten Längen werden ein Einstellen abhängig von der Anwendung und der gewünschten Leistung erfordern.

In ähnlicher Weise sind Ansteuerungsanordnungen, welche anders als die in den Fig. 1 und 2 dargestellt sind, möglich. Z.B. könnten in der Ausführungsform der Fig. 1 anstatt des Verwendens eines einzelnen Ansteuerlasers 4A und eines 3dB, 1x2-Kopplers 13, um die beiden Verstärkungsbereiche 5 und 6 des digitalen Zweiges anzusteuern, ein Paar von Laserdioden und ein 2x2-Koppler genutzt werden. Auf diese Weise, indem Redundanz geliefert wird, wird der digitale Verstärkungszweig gegenüber möglichem Ausfall geschützt (im Falle eines Ausfalls eines der Ansteuerlaser wird die Verstärkung noch stattfinden, mit Verlusten von nur 3 dB).

Alternativ zeigt die Fig. 3 eine Ausführungsform der Erfindung, welche ein Pumpschema unterschiedlich von dem der Fig. 1 und 2 hat. Der erste Pumplaser 4A ist mit einer Verstärkungs-einrichtung 5 über einen WDM-Koppler 13' so gekoppelt, dass die Spule 5 in Vorwärtsrichtung gepumpt wird (Vorwärtsrichtung bedeutet hier aus der Sicht des Betrachters von links nach rechts). Die verbleibende Pumpleistung aus der Spule 5 wird dann dem Bypass-Filter 8 über den WDM-Koppler 11' entlang der Bypass-Route 22 zugeführt und wird in die Spule 6 in umgekehrter Pumprichtung (rechts nach links) über den WDM-Koppler 12' zugeführt. In einem Gesichtspunkt dieser Ausführungsform liegt der Teil der verbleibenden Pumpausgangsleistung, der der Spule 6 zugeführt wird, vorzugsweise im Bereich 50-90% des Teils der

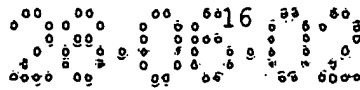
14

Pumpausgangsleistung, welche genutzt wird, um die Spule 5 zu pumpen. Noch mehr bevorzugt ist der Teil der verbleibenden Pumpausgangsleistung, welche der Spule 6 zugeführt wird, im Bereich von 75-85% des Teils der Pumpausgangsleistung, welche benutzt wird, um die Spule 5 zu pumpen. Am bevorzugtesten liegt diese bei ungefähr 80%.

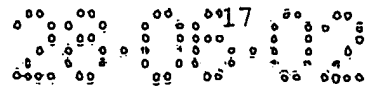


Patentansprüche

1. Optische Verstärkervorrichtung, insbesondere für die Verwendung in Netzwerken, welche Signale über optische Fasern verteilen, wobei die Vorrichtung digitale und analoge Signale verstärkt, gekennzeichnet durch:
erste und zweite parallele optische Zweige (1,2), wobei der erste optische Zweig (1) eine optische Verstärkereinrichtung (5,6) zum Verstärken digitaler Signale und der zweite optische Zweig (2) eine optische Verstärkereinrichtung (7) zum Verstärken analoger Signale beinhaltet.
2. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Verstärkereinrichtung (5,6) des ersten Zweiges (1) geeignet ist, bidirektional digitale Signale zu verstärken und die optische Verstärkereinrichtung (7) des zweiten optischen Zweiges (2) geeignet ist, einseitig gerichtete analoge Signale zu verstärken.
3. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Verstärkereinrichtung (5,6) des ersten Zweiges (1) geeignet ist, digitale Wellenlängenmultiplex-Signale zu verstärken.
4. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die optische Verstärkereinrichtung (5,6) des ersten Zweiges (1) erste (5, 11) und zweite (6, 12) verstärkende Teile und ein die Verstärkung abflachendes Filter (8) aufweist, welches zwischen dem ersten und zweiten verstärkendem Teil angeordnet ist.



5. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie erste und zweite Pumplaser (4A, 4B) beinhaltet, welche mit den ersten und zweiten Zweigen (1, 2) in der Weise verbunden sind, dass die Verstärkung oder die Ausgangsleistung eines jeden der parallelen optischen Zweige unabhängig von dieser oder von denen des anderen optischen Zweiges gesteuert werden kann.
6. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Pumplaser (24A) mit dem zweiten Zweig (2) und der ersten verstärkenden Einrichtung (5) des ersten Zweiges (1) verbunden ist, wohingegen der zweite Pumplaser (24B) mit der zweiten verstärkenden Einrichtung (6) des ersten Zweiges (1) verbunden ist.
7. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die verstärkende Einrichtung oder Teile durch Erbium-dotierte Faserverstärker (EDFA) gebildet werden, wobei der erste optische Zweig (1) einen kürzeren Wellenlängenbereich (blau) des EDFA-Verstärkungsspektrums und der zweite optische Zweig (2) einen längeren Wellenlängenbereich (rot) des EDFA-Verstärkungsspektrums nutzt.
8. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der kürzere Wellenlängenbereich des EDFA-Verstärkungsspektrums den Wellenlängenbereich 1530 - 1545 nm betrifft, und der längere Wellenlängenbereich des EDFA-Verstärkungsspektrums den Wellenlängenbereich 1550 - 1560 nm betrifft.
9. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Enden der ersten und zweiten parallelen optischen Zweige (1,2) über Wellenlängenmultiplex (WDM)-Anordnungen (3) miteinander verbunden sind.



10. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite optische Zweig (2) einen optischen Isolator (14) beinhaltet.
11. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sie ferner einen Teiler (20) aufweist, der mit einem Ausgang der Vorrichtung verbunden ist.
12. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite optische Zweig (2) geeignet ist, ein CATV-Signal zu verstärken.
13. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass beide Verstärkereinrichtungen (5,6) entgegengesetzt gerichtet durch einen Teil der Ausgangsleistung des ersten Pumplasers (4a) gepumpt werden.
14. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Verstärkereinrichtung (5) durch einen Teil der Ausgangsleistung des ersten Pumplasers (4a) vorwärts gerichtet gepumpt wird und die Verstärkereinrichtung (6) durch einen Teil der restlichen Ausgangsleistung des ersten Pumplasers (4a) entgegengesetzt gerichtet gepumpt wird.
15. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die restliche Ausgangsleistung des ersten Pumplasers (4a) ungefähr 50-90% des Ausgangsleistungsteils des ersten Pumplasers beträgt, welcher die Verstärkereinrichtung (5) pumpt.

20001800

16. Optische Verstärkervorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der restliche Ausgangsleistungsteil des ersten Pumplasers (4a) ungefähr 75-85% des Ausgangsleistungsteils des ersten Pumplasers beträgt, welcher die Verstärkereinrichtung (5) pumpt.

Sammler/-
Sp/Leib

FIG. 2

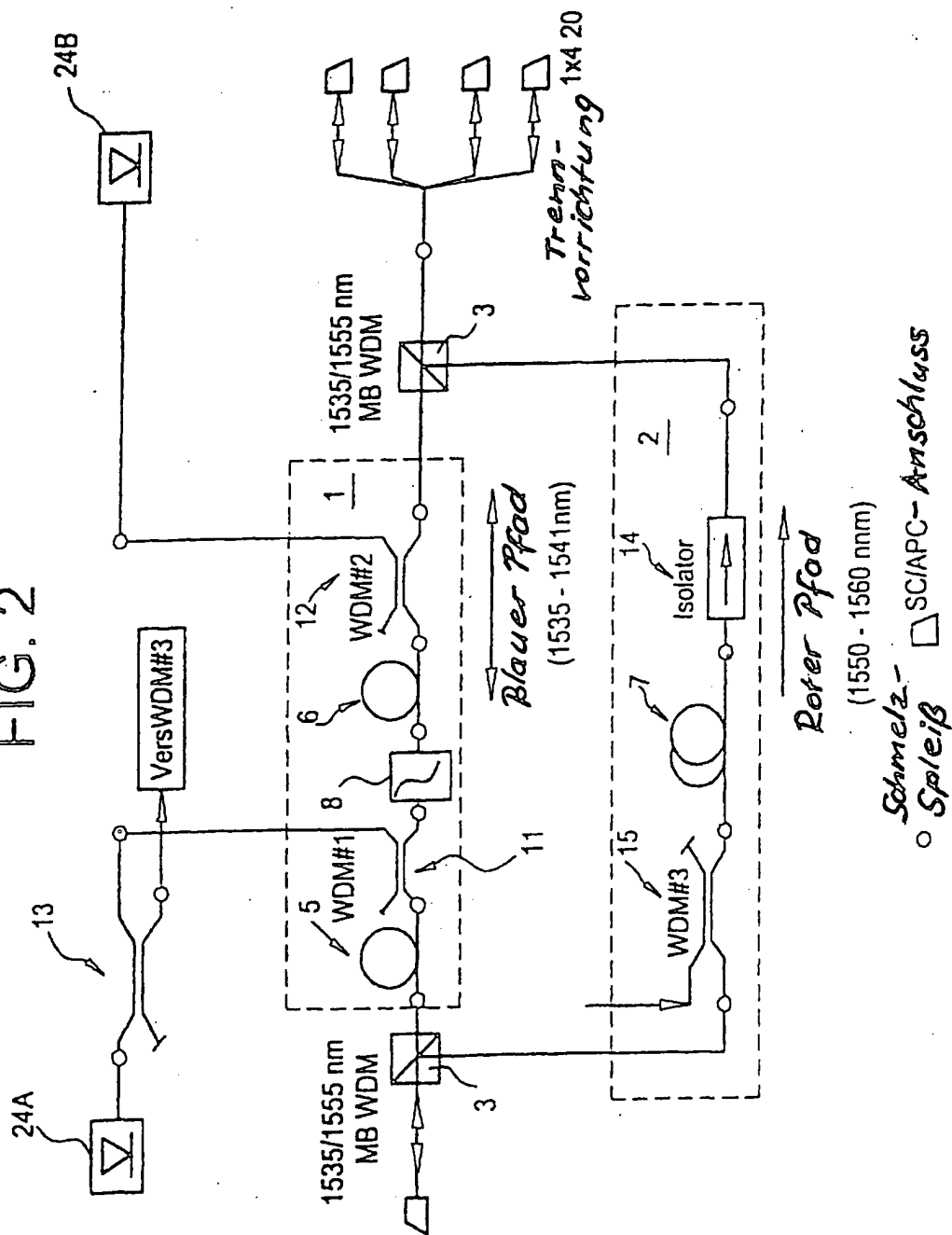


FIG. 3

